



# Desarrollo de conocimiento para la mejora del mantenimiento predictivo en el sector eólico

1<sup>er</sup> Simposio de Soluciones para el Mantenimiento en la Industria Eólica

Elciego, 10 de mayo 2012

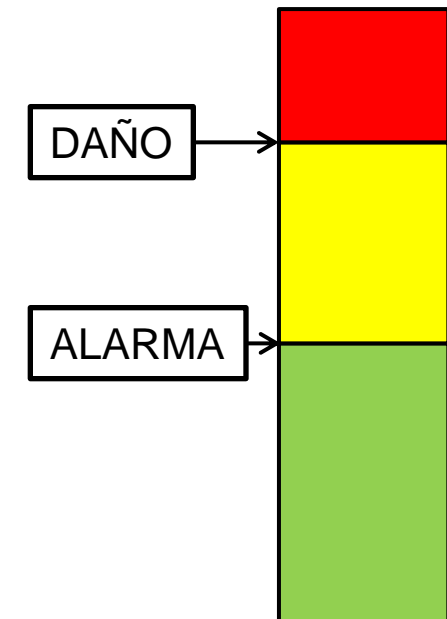
Xavier Escaler

- **MEDIDA Y EVALUACIÓN DE VIBRACIONES EN TURBINAS EÓLICAS**
- **COMPORTAMIENTO VIBRATORIO DE LAS TURBINAS EÓLICAS**
  - Fuentes de excitación
  - Condiciones de operación
- **POTENCIAL DEL ANÁLISIS ESPECTRAL**
- **LÍNEAS DE ACTUACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO**
- **EJEMPLOS CON CASOS REALES**
  - Firmas vibratorias según componentes
  - Picos relevantes y sus amplitudes
  - Efecto de las cargas del viento
- **CONCLUSIONES**

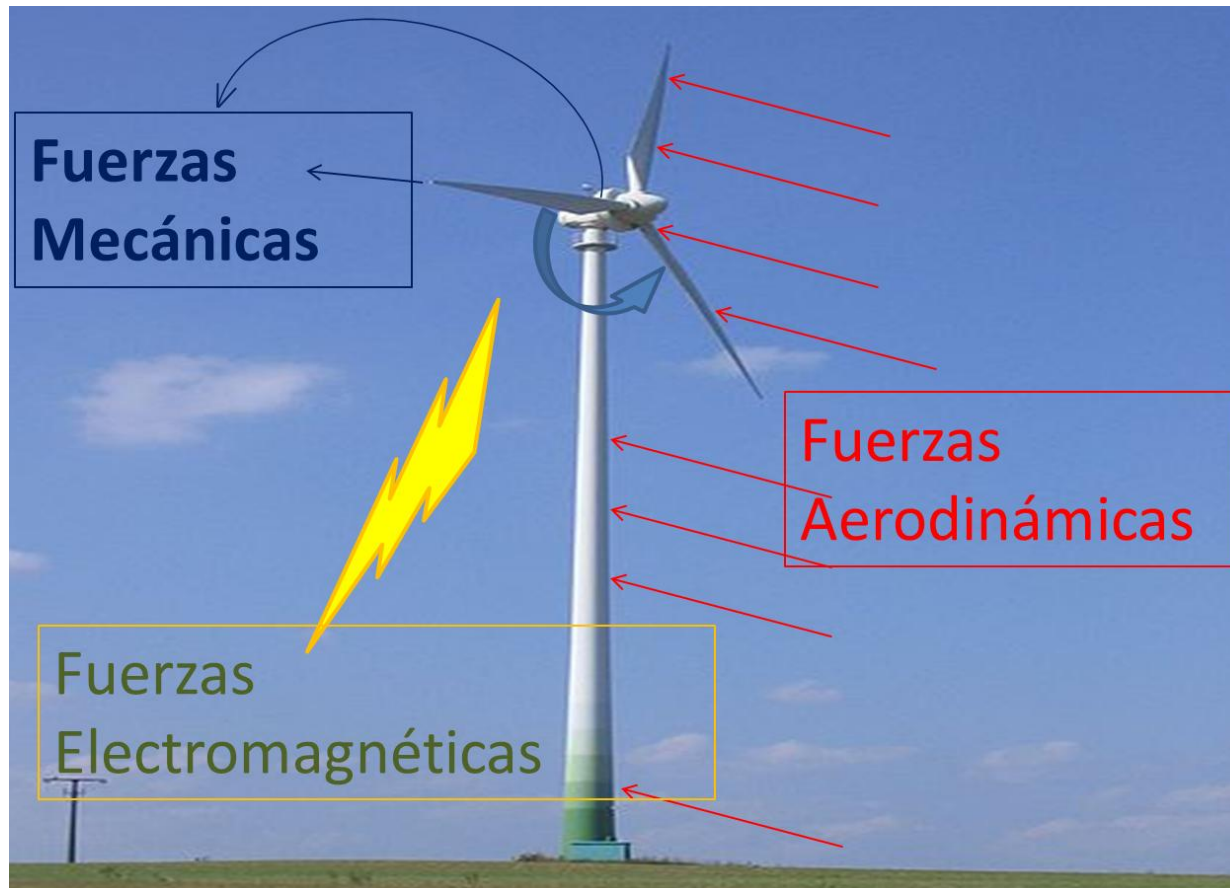
- La normativa recomienda límites de ALARMA (WARNING) y DAÑO (ALARM)
  - Son valores estándar → existe el riesgo de provocar falsas alarmas
- Pero NO SIRVE para identificar los daños específicos ni sus posibles causas
- Los Sistemas de Monitorización por Vibraciones deberían proporcionar la detección temprana de fallos
  - Necesidad de desarrollar conocimiento en este ámbito

Table 1. Guide values for onshore wind turbines with nominal outputs  $\leq 3$  MW

Component	Evaluation acceleration in $\text{m/s}^2 \text{ rms}$		Evaluation velocity in $\text{mm/s rms}$	
Nacelle and tower	Frequency range $\leq 0.1$ to 10 Hz		Frequency range $\leq 0.1$ to 10 Hz	
	Band limit I/II	Band limit II/III	Band limit I/II	Band limit II/III
	0,3	0,5	60	100
Rotor with roller bearing	Frequency range $\leq 0.1$ to 10 Hz		Frequency range 10 Hz to 1000 Hz	
	Band limit I/II	Band limit II/III	Band limit I/II	Band limit II/III
	0,3	0,5	2,0	3,2
Gearbox	Frequency range $\leq 0.1$ to 10 Hz		Frequency range 10 Hz to 1000 Hz	
	Band limit I/II	Band limit II/III	Band limit I/II	Band limit II/III
	0,3	0,5	3,5	5,6
	Frequency range 10 Hz to 2000 Hz			
	7,5	12,0		
Generator with roller bearing	Frequency range 10 Hz to 5000 Hz		Frequency range 10 Hz to 1000 Hz	
	Band limit I/II	Band limit II/III	Band limit I/II	Band limit II/III
	10	16	6,0	10



- Tipos de cargas excitadoras que actúan sobre el aerogenerador
  - Aerodinámicas
  - Mecánicas
  - Electromagnéticas



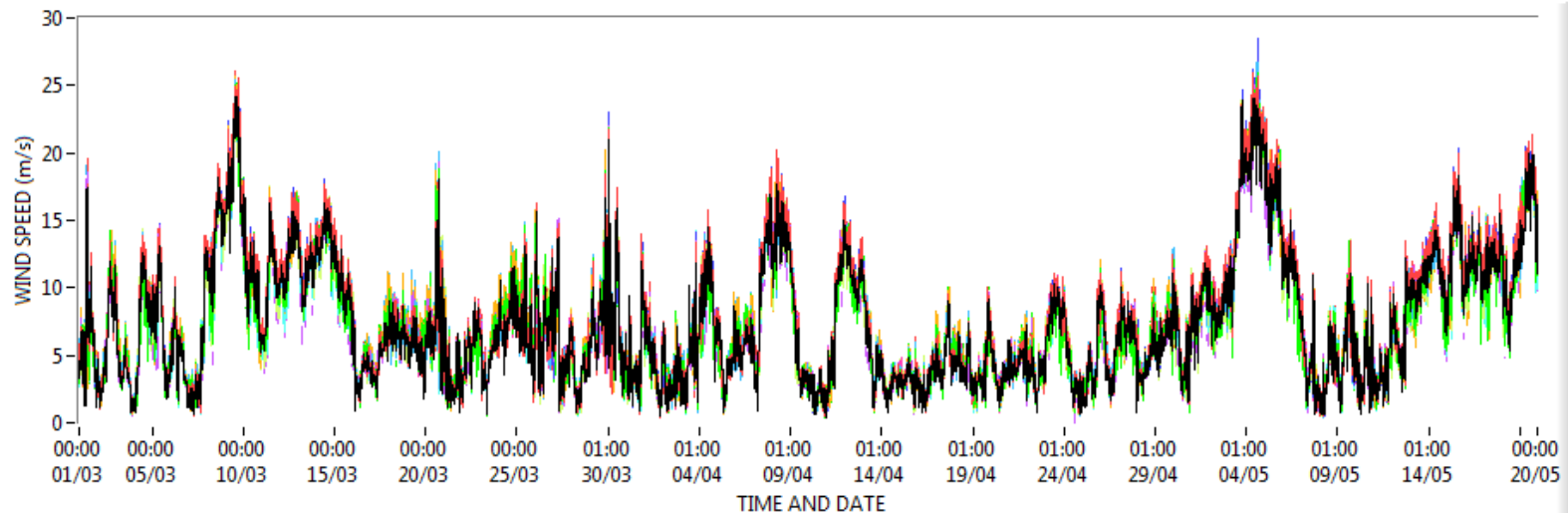
# Condiciones de viento no estacionarias

CDIF

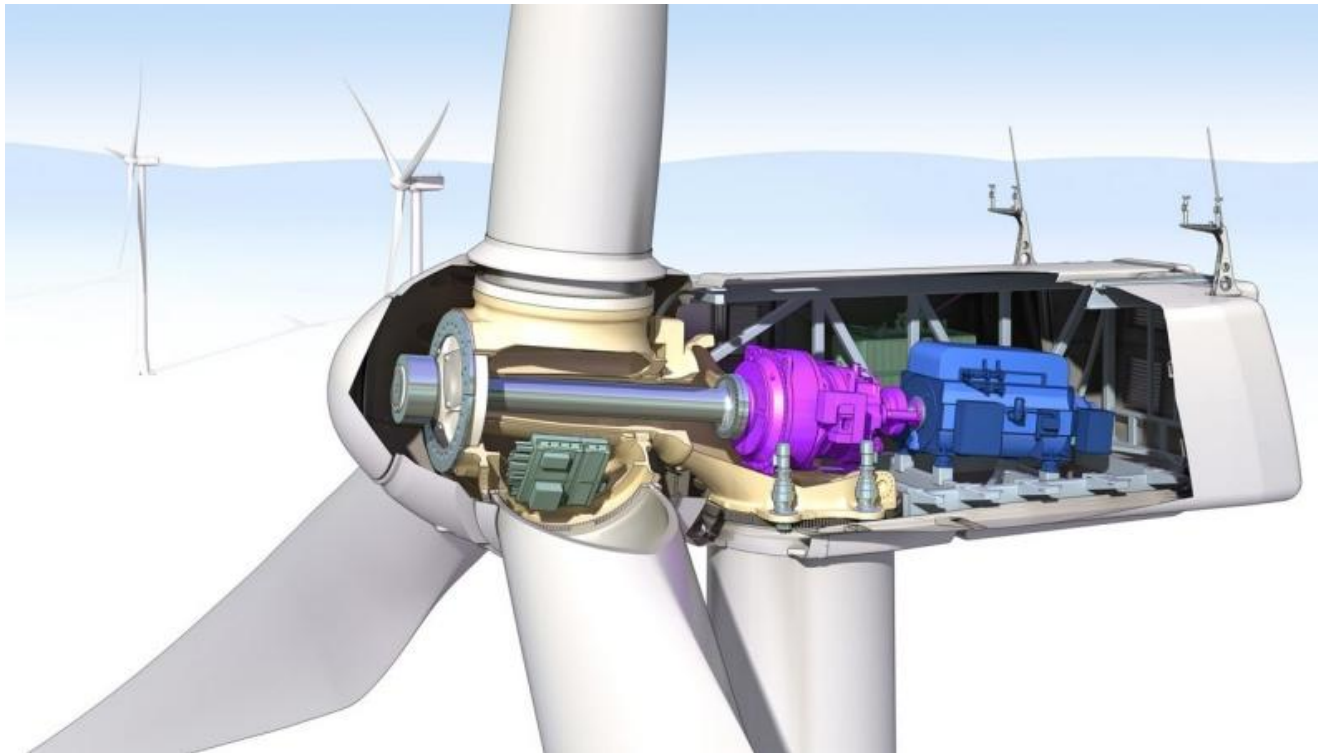
UPC

SCHAEFFLER

- Cambios continuos de la fuerza y de la dirección del viento
- Muchas veces son cambios súbitos
- Necesidad de sistemas on-line para evaluación constante de la vibración



- Transmisión de potencia mediante multiplicador :
  - Ejes
  - Engranajes
  - Rodamientos
- [Par elevado – Velocidad baja] → [Par bajo– Velocidad elevada]



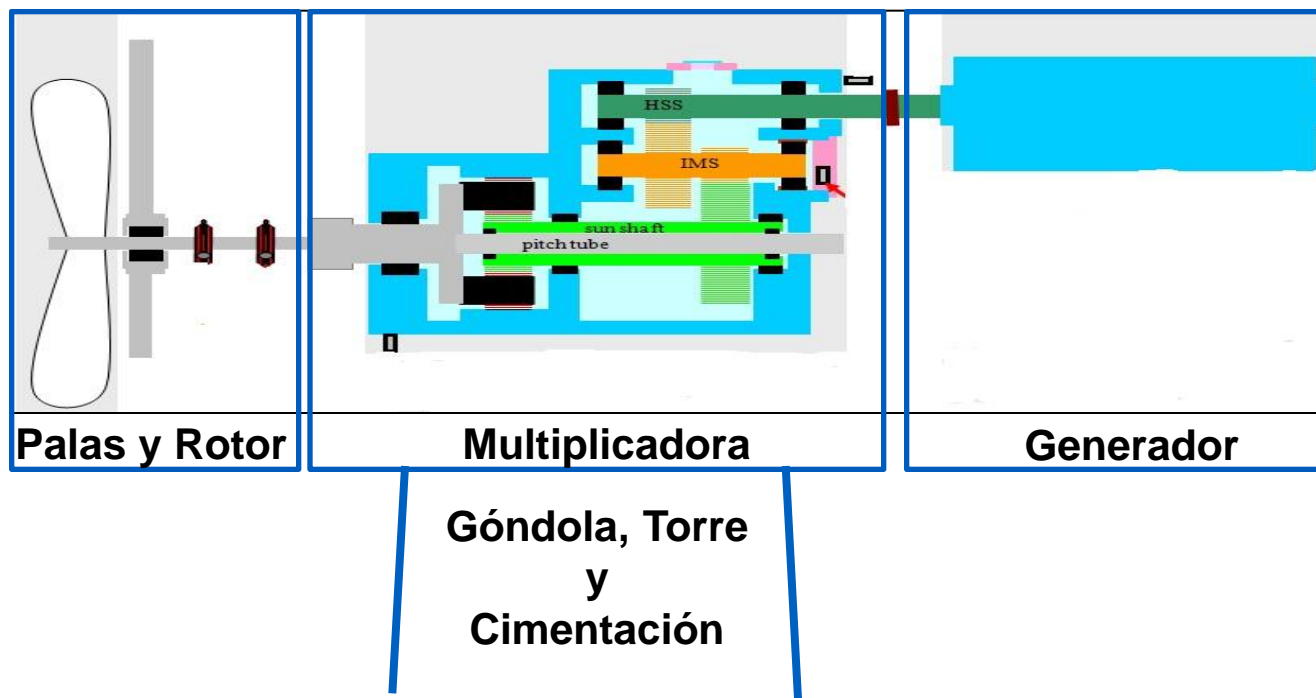
# Componentes del tren

CDIF

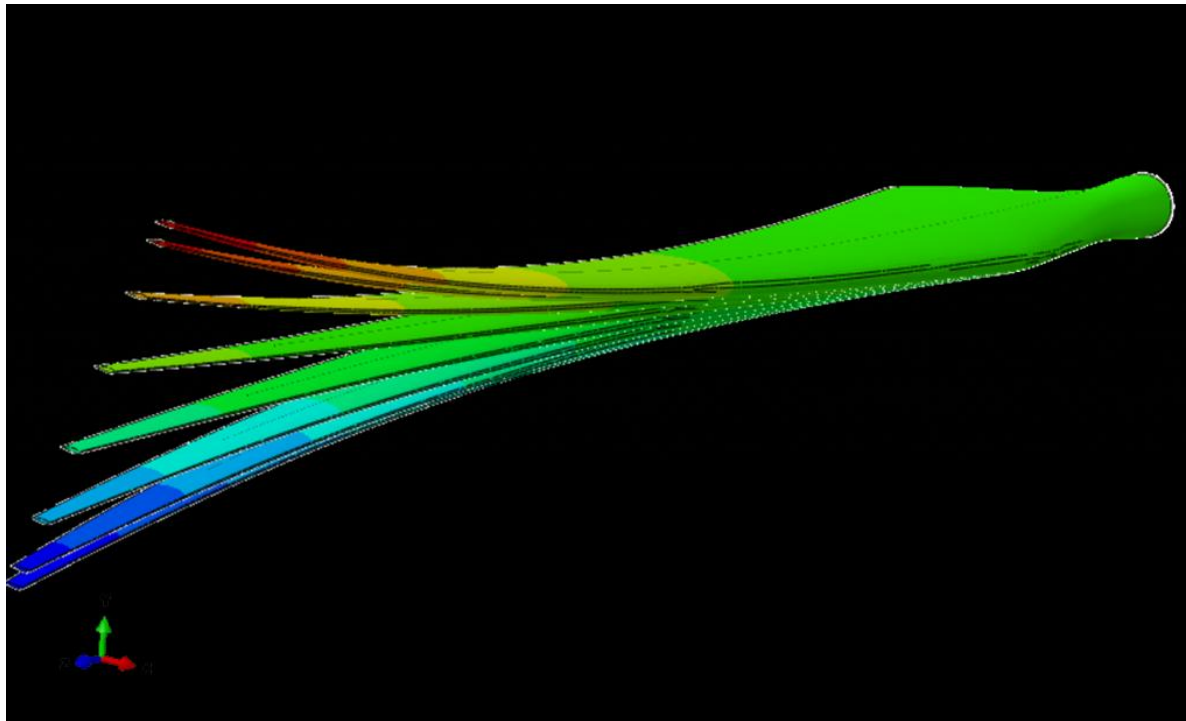
UPC

SCHAEFFLER

- El tren de potencia presenta un comportamiento vibratorio específico según sea:
  - El generador
  - La multiplicadora
  - El rotor y las palas
  - La torre y la góndola
- Se trata de componentes individuales ensamblados
- Existe una interacción entre ellos y con la instalación



- Estructura flexible
- Materiales ligeros
- Comportamiento elástico con grandes deformaciones y posibles resonancias





# Condiciones de operación

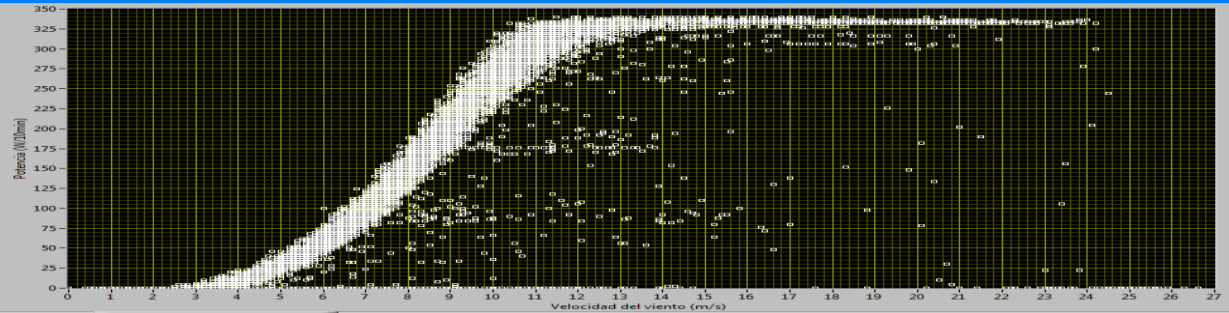
CDIF

UPC

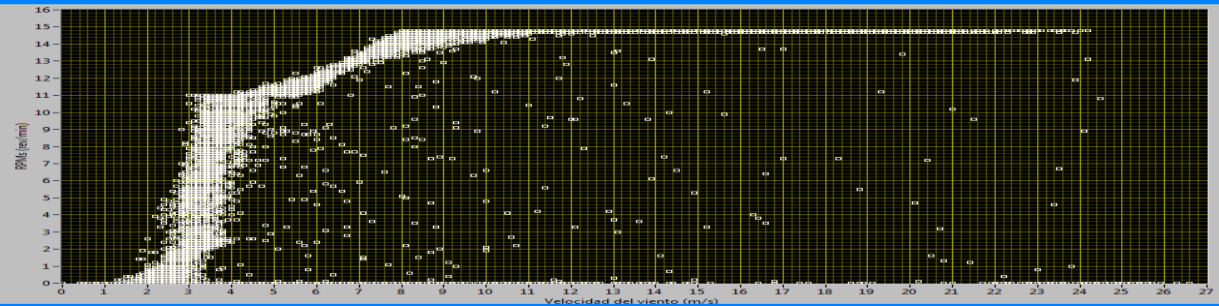
SCHAEFFLER

- Regulación del aerogenerador
  - Máquina de velocidad y ángulo de palas variables
  - Curva de potencia estacionaria según la carga del viento

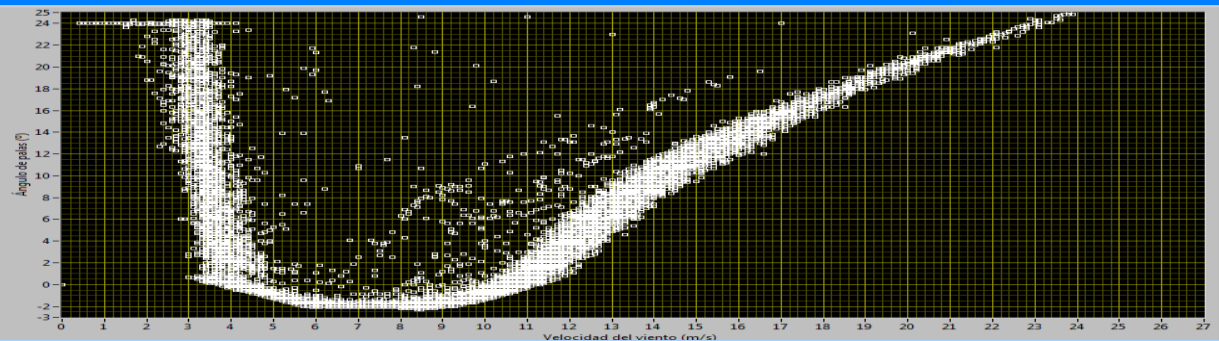
Potencia



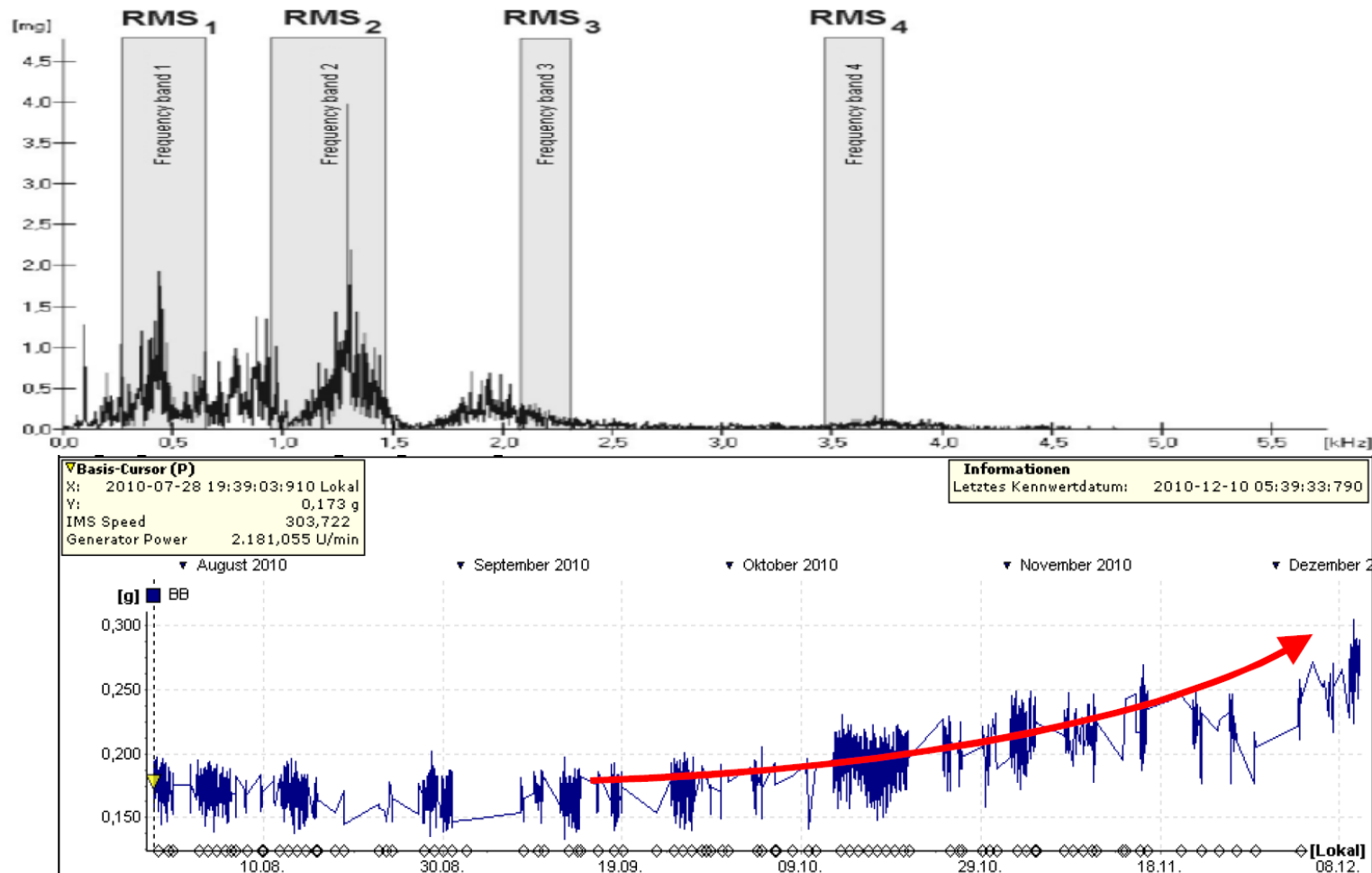
Velocidad de giro



Ángulo de inclinación de palas



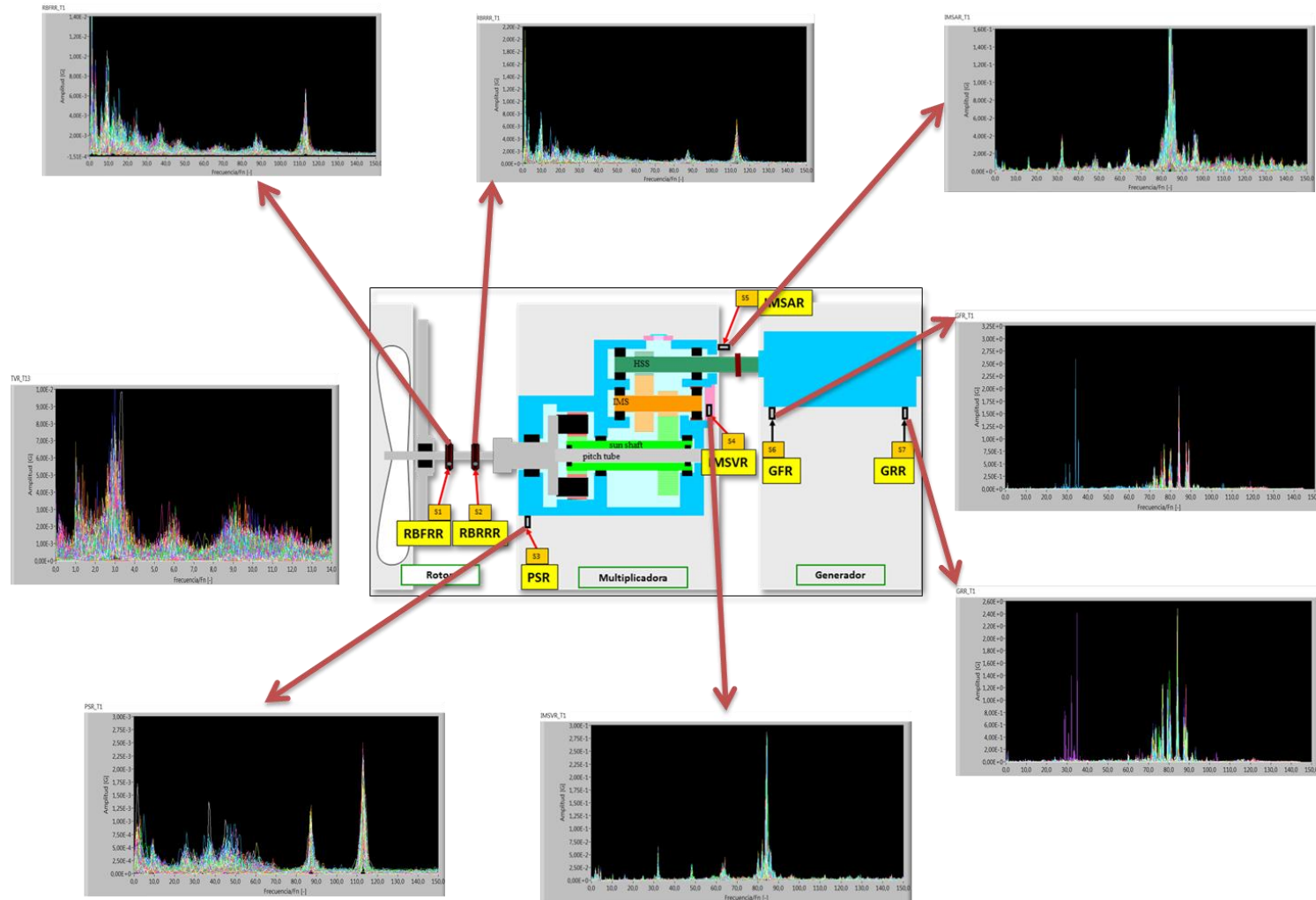
- Selección de valores característicos según banda de frecuencia
  - Frecuencias excitadoras o forzadas
  - Frecuencias de fallo



- **Instalación permanente con adquisición continua y automática**
  - Cálculo continuo de los valores característicos
  - Selección adecuada de los tiempos de promediado
  - Monitorización de todos los componentes
- **Selección de valores característicos según banda de frecuencia**
  - Excitaciones en cada componente
  - Frecuencias de fallo de cada componente
- **Comparación de valores característicos con niveles límite individualizados**
  - Según la potencia y configuración de la turbina eólica
  - Según el componente y el punto de medición
  - Según el tipo de operación y la carga del viento
- **Desarrollo de técnicas de análisis personalizadas**
  - Arrancadas y paradas

# Caso real: Firmas vibratorias

- Cambian según el componente y el punto monitorizado
- Cambian según la velocidad de giro del eje más cercano



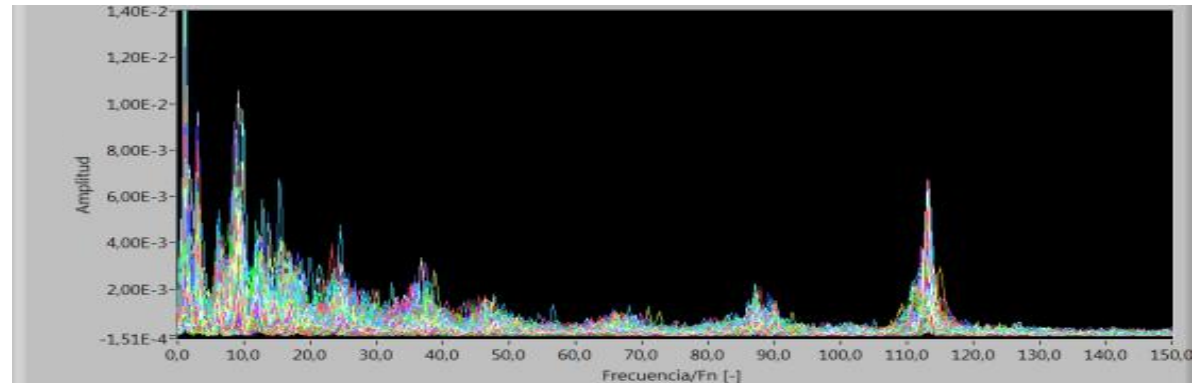
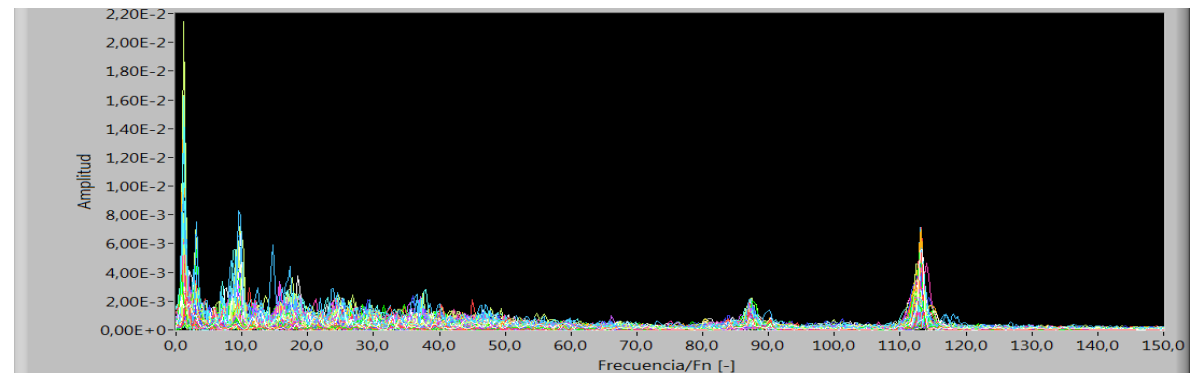
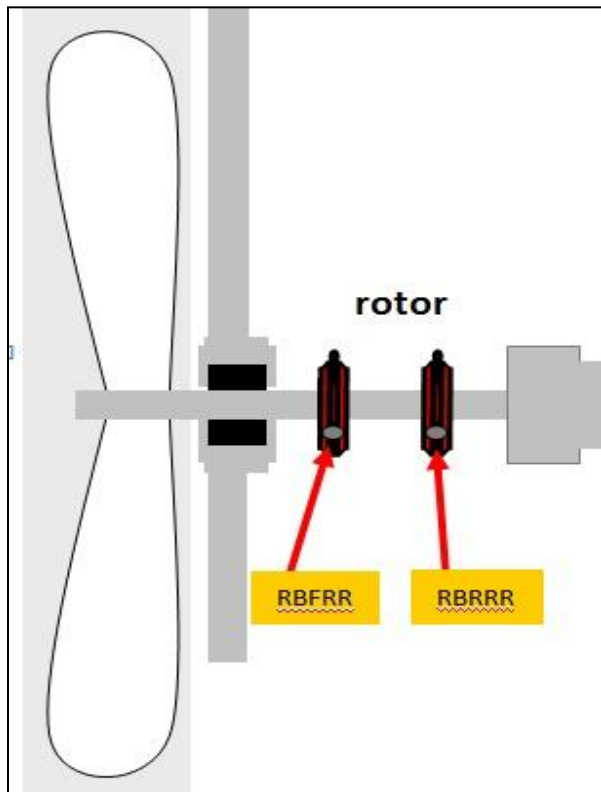
# Vibraciones en el eje principal

CDIF

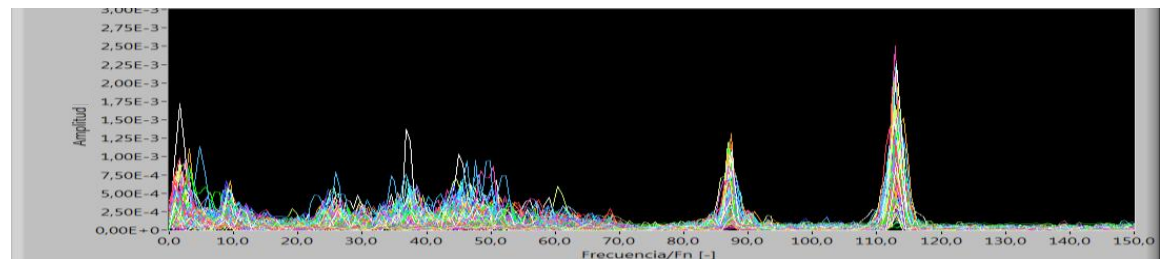
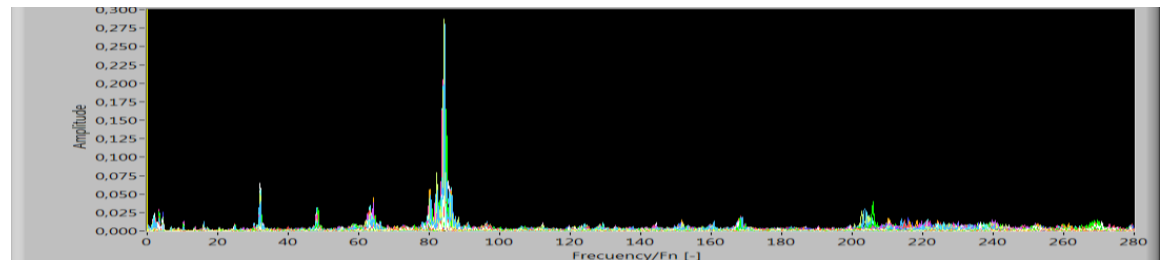
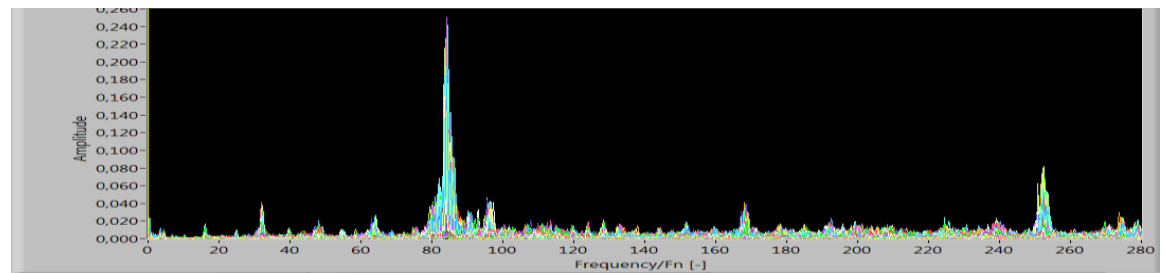
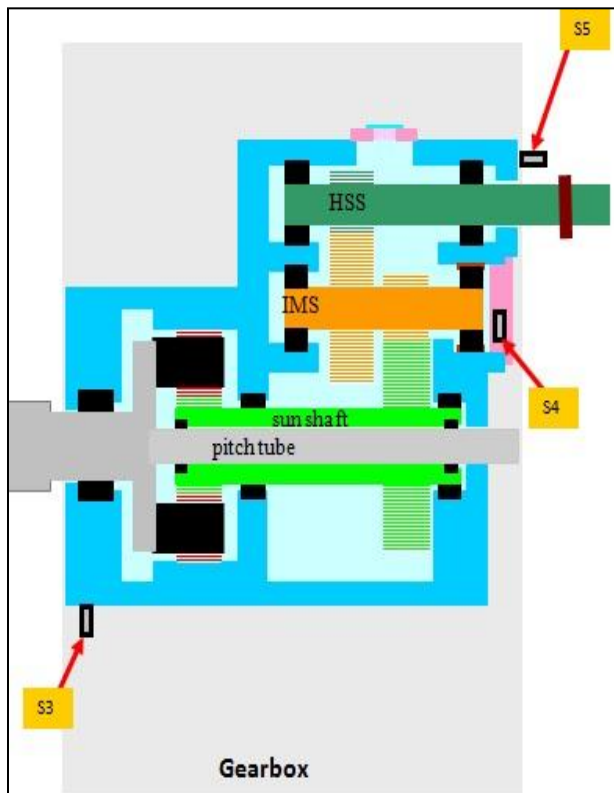
UPC

SCHAEFFLER

- Giro del rotor y armónicos
- Paso de palas por delante de la torre



- Giro del eje generador
- Engrane entre los planetas y la corona exterior en el engranaje planetario
- Engrane entre el eje hueco y el eje intermedio
- Engrane entre el eje intermedio y el eje del generador



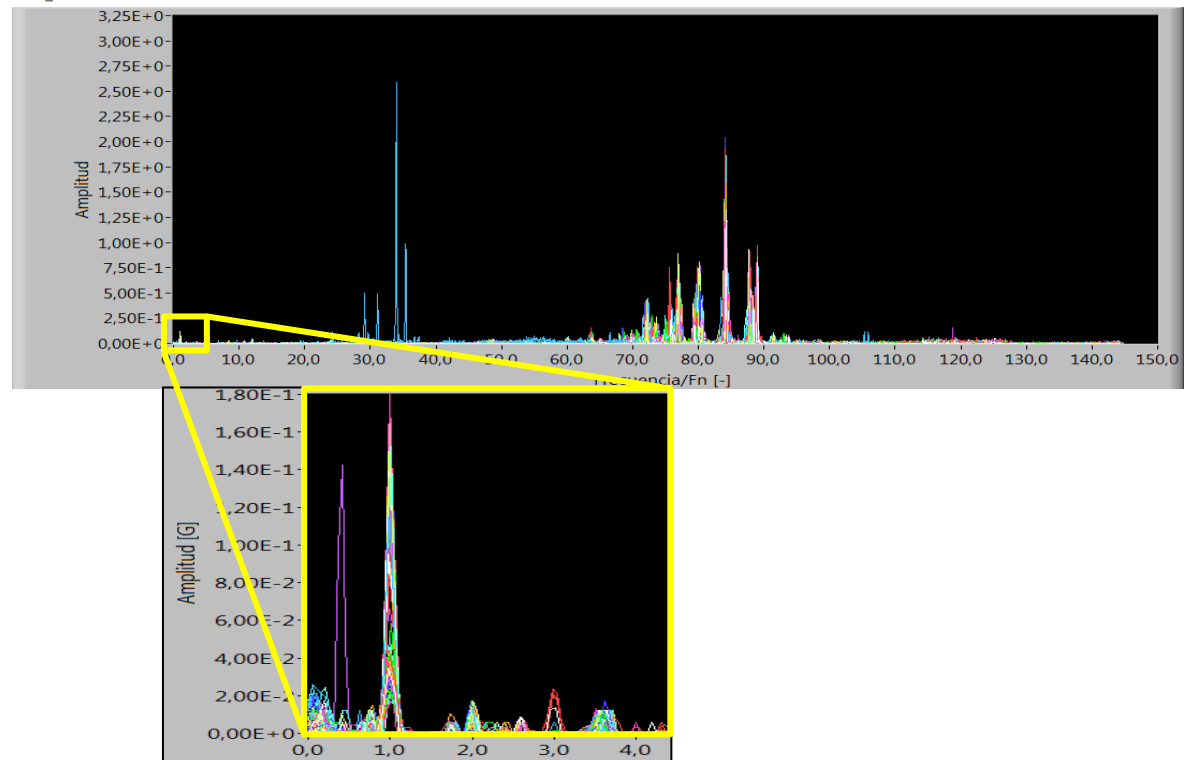
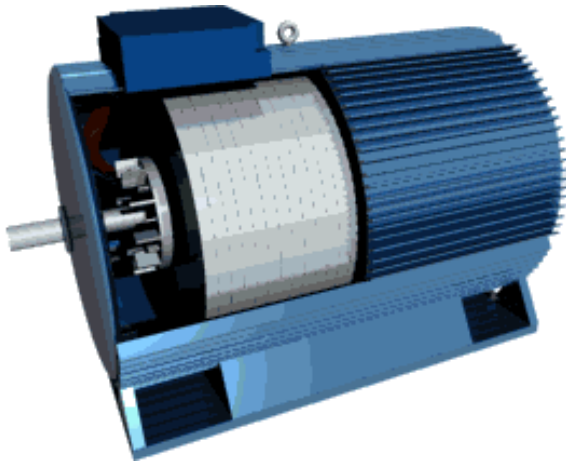
# Vibraciones en generador

CDIF

UPC

SCHAEFFLER

- Giro del eje generador y armónicos
- Frecuencias de origen eléctrico



# Selección de los picos significativos

- Los picos a controlar por ser significativos dependen de:
  - Tipo de componente
  - Tipo de daño a identificar
  - Posición de medición
  - Orientación del sensor

Eje de referencia	Frecuencias
Rotor	$f_0, 3xf_0, f_3$
Rotor	$f_0, 3xf_0, f_3$
Rotor	$f_{01}, f_3$
Eje intermedio	$f_3, 2xf_{12}, f_{23}$
Eje intermedio	$f_3, 2xf_{12}, f_{23}$
Generador	$f_3, 2xf_3, 84xf_3$
Generador	$f_3, 2x f_3, 84xf_3$
Rotor	$3xf_0$



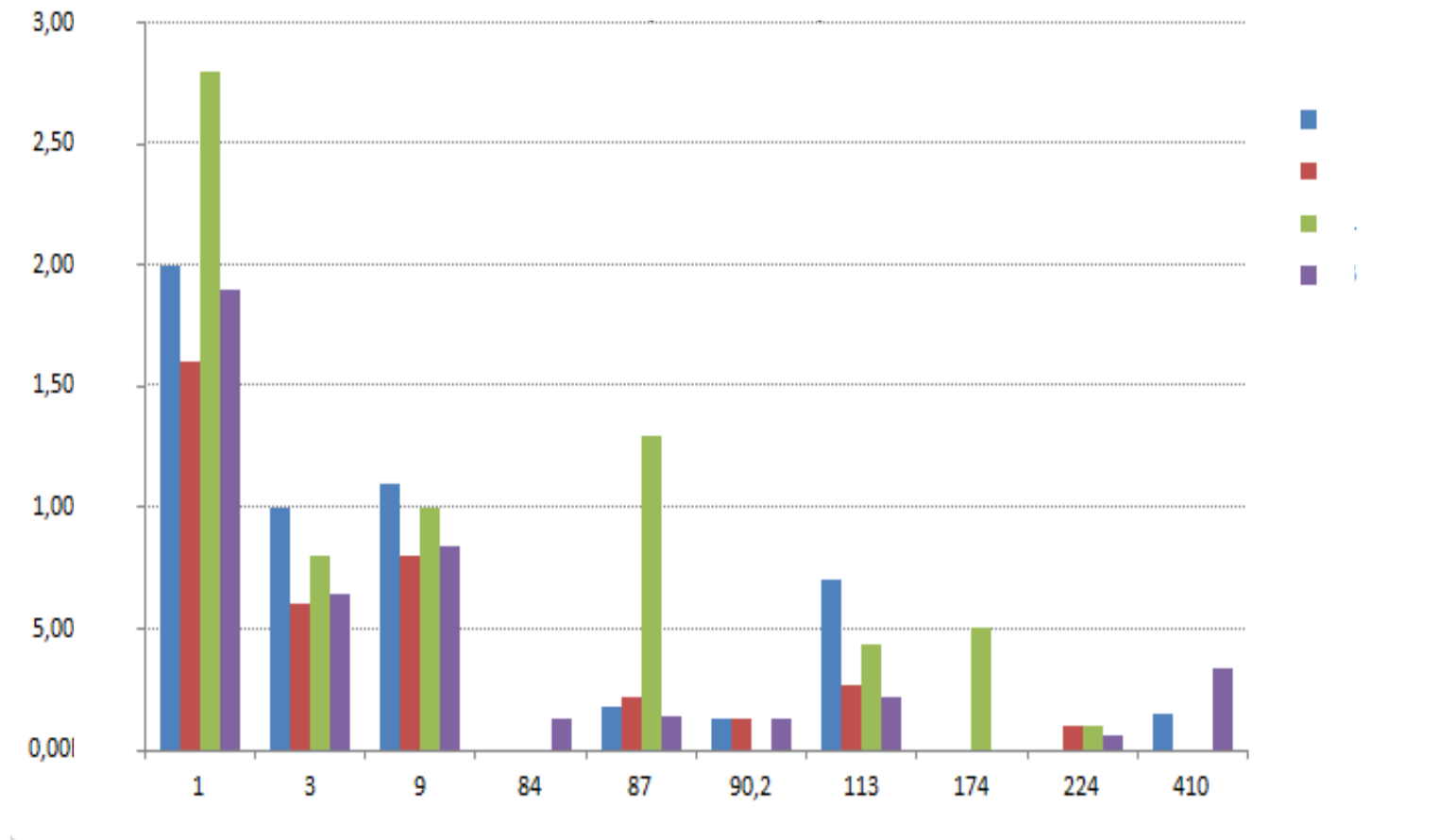
# Amplitudes típicas de los picos

CDIF

UPC

SCHAEFFLER

- Son comparables entre aerogeneradores del mismo tipo
  - si se miden en los mismos puntos y con iguales orientaciones



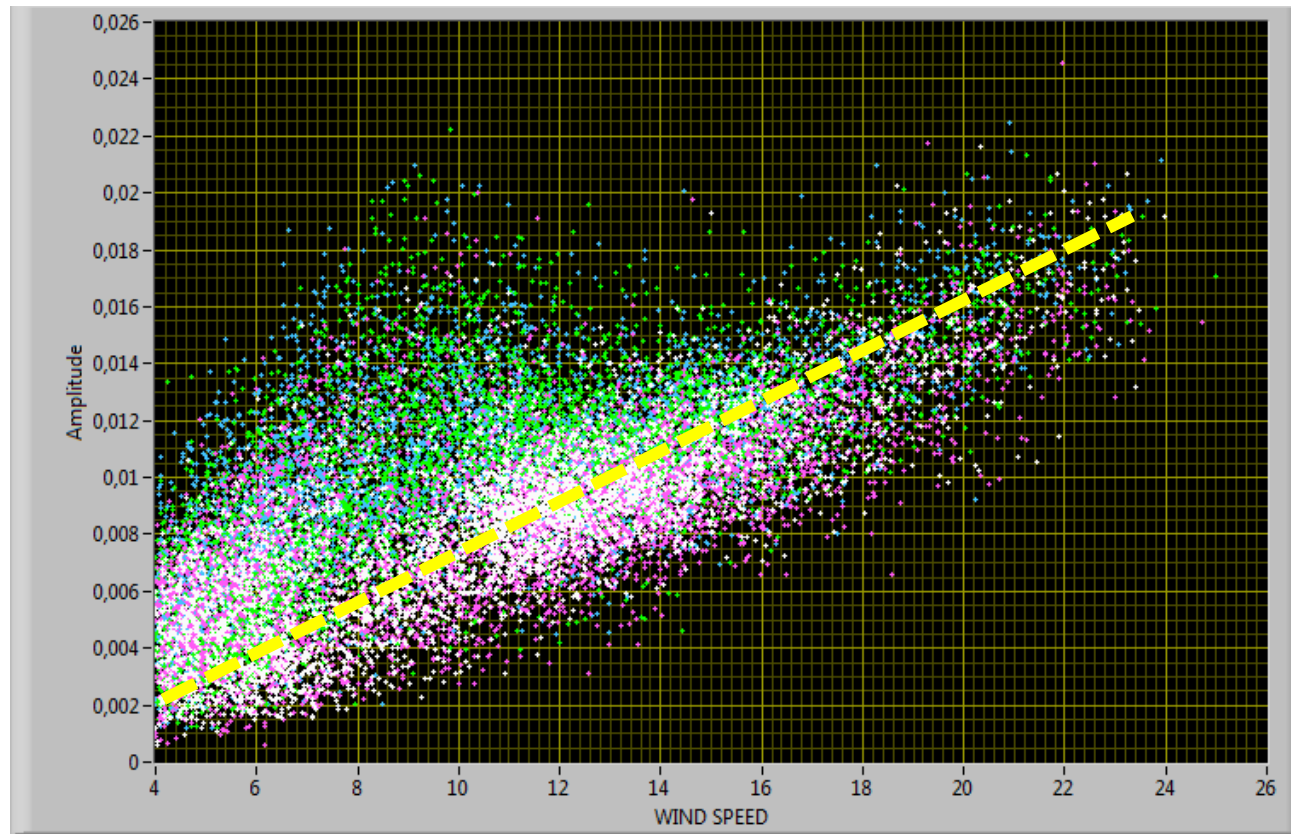
# Niveles en función de las cargas

CDIF

UPC

SCHAEFFLER

- Existe una correlación entre los niveles de los picos y la carga de viento
  - Esta correlación es cuantificable
  - Su influencia es significativa
- Su conocimiento redunda en una supervisión mucho más precisa



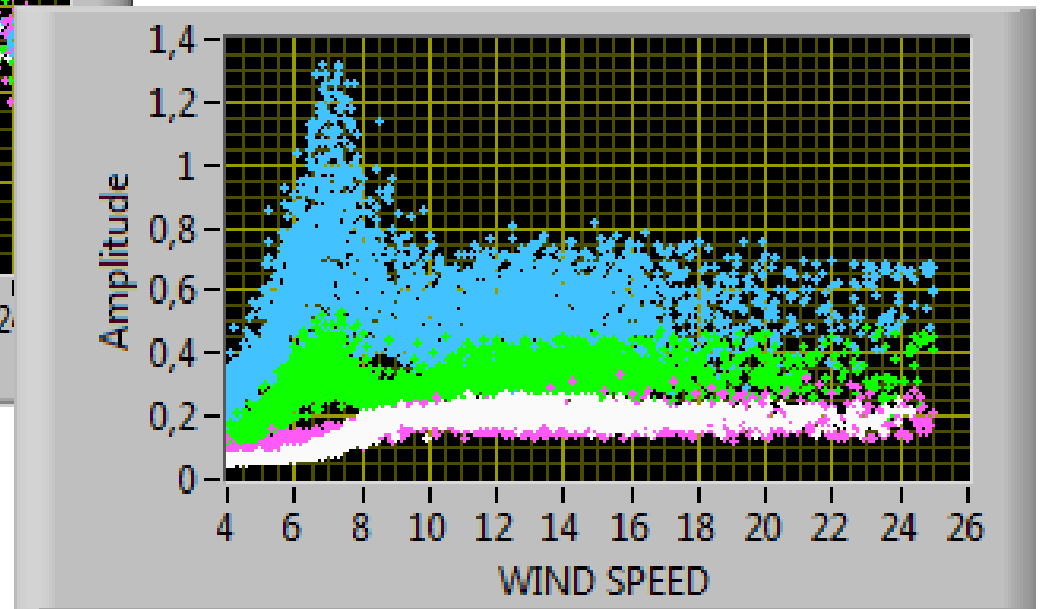
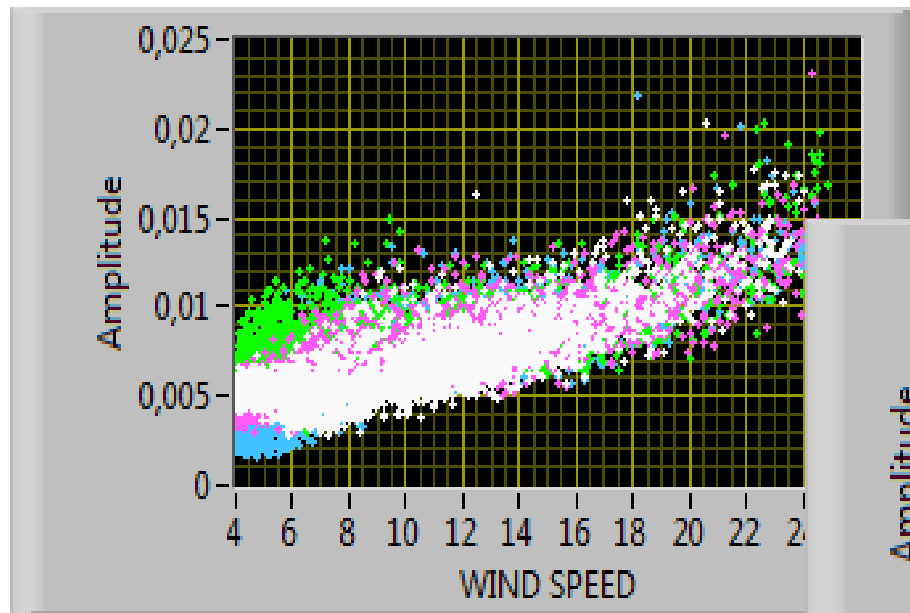
# Otros factores que afectan los niveles

CDIF

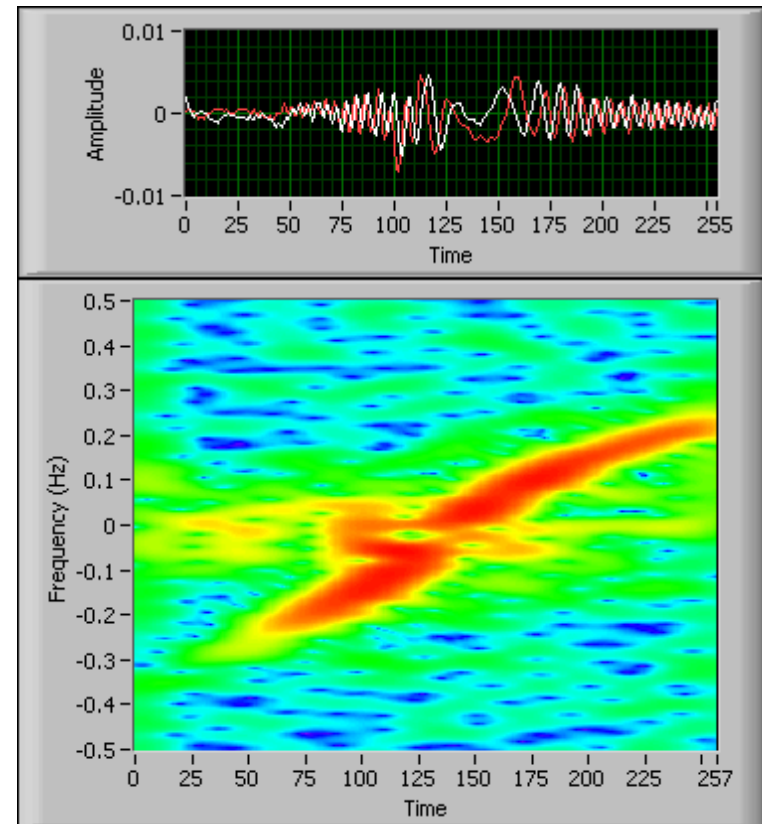
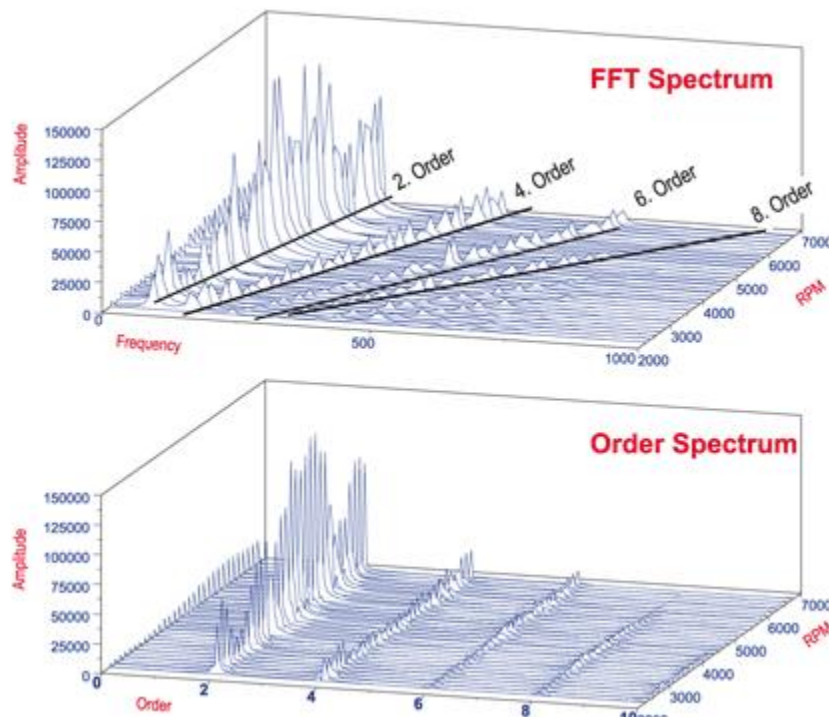
UPC

SCHAEFFLER

- El nivel vibratorio según la carga puede depender:
  - Del punto de medición
  - Del pico seleccionado
  - Del tipo de aerogenerador
- Se requiere un estudio detallado y particularizado a cada parque eólico



- Procesamiento en tiempo-frecuencia y order-tracking
  - Seguimiento de vibraciones transitorias
  - Detección de resonancias (excitación de frecuencias naturales)
- Demodulación en amplitud y Cepstrum (daños en rodamientos)
- Promediado síncrono y estudio de fases



- **Se ha desarrollado una metodología para identificar el comportamiento vibratorio de las turbinas eólicas en buen estado**
  - Niveles de referencia
- **Se han identificado y definido bandas de frecuencia selectivas según componente**
  - Frecuencias de excitación
  - Frecuencias de daño
- **Se ha determinado la influencia de los parámetros de operación sobre los niveles vibratorios**
- **Por lo tanto, es posible la personalización de los niveles de alarma y daño para cada turbina**
- **En resumen, la aplicación de esta metodología en parques eólicos es la herramienta que ha de permitir la optimización de su mantenimiento**



**¡Gracias por su atención!**